

Un fabricante de equipos informáticos está diseñando una red de alta velocidad, para ello, ha diseñado las correspondientes tarjetas de red que emplean enlaces de dos pares de hilos (un par de hilos para transmitir y otro para recibir). Las características de los enlaces son las siguientes:

- Relación señal ruido: 63dB
- Ancho de Banda: 100MHz

Para la codificación de los datos, se ha seleccionado la codificación polar con retorno a cero:

- a) ¿Cuál es la máxima velocidad de transmisión alcanzable?
- b) Sin modificar la relación señal-ruido de los enlaces, proponga una codificación que permita alcanzar una velocidad de 2Gbps. Razone la adecuación de la codificación propuesta a las características de la línea.

**DATOS:**

$$\frac{S}{R} = 63 \text{ dB} \approx 2(10^6)$$

$$W = 100 \text{ MHz}$$

$$\text{Polar con retorno a cero} \rightarrow \log_2 N = \frac{1}{2} \text{ bits por cambio de señal}$$

**DESARROLLO:**

a)

$$C = 2 W \log_2 N = 2 (100) \frac{1}{2} = 100 \text{ Mbps}$$

b)

$$C = 2 W \log_2 N \rightarrow \log_2 N = \frac{C}{2 (W)} = \frac{2048}{2 (100)} \approx 10 \text{ bits por cambio de señal}$$

Con esta codificación (10 bits/cambio de señal) el número de niveles necesario sería:

$$10 = \log_2 N \rightarrow N = 10^2 = 1024 \text{ niveles}$$

Con las características de la línea el número de niveles sería:

$$N = \sqrt{1 + \frac{S}{R}} = \sqrt{1 + 2(10)^6} \approx 1414 \text{ niveles}$$

1024 niveles < 1414 niveles  $\rightarrow$  por lo tanto se puede emplear la codificación propuesta.

Un equipo terminal envía datos a una red de comunicaciones a través de un modulador de 8 fases.

Se supone que el equipo terminal transmite a 9600bps.

- a) ¿Cuál es la velocidad de transmisión en baudios a la salida del modulador?
- b) ¿Cuál es la velocidad de transmisión en bit/seg. a la salida del modulador?

**DATOS**

$$C = 9600 \text{ bps}; N = 8 \text{ niveles}$$

**DESARROLLO**

a)

$$C = V \log_2 N \rightarrow V = \frac{C}{\log_2 N} = \frac{9600}{\log_2 8} = 3200 \text{ Baudios}$$

b)

$$C = 9600 \text{ bps}$$

Un fabricante de cables de interconexión está diseñando un cable para ser usado como interfaz digital de alta velocidad entre dos equipos. Con el fin de ofrecer un cable lo más fino, manejable y atractivo posible y al mismo tiempo reducir el coste de producción ha decidido emplear la menor cantidad posible de cobre (material caro). Como consecuencia de esta decisión el cable seleccionado presenta un ancho de banda relativamente escaso lo que se solucionará mediante la incorporación de unos pequeños chips (de muy reducido coste de fabricación) incorporados en el interior de los conectores de los dos extremos.

Sabiendo que:

- Los chips diseñados son codificadores/decodificadores (codecs)
- La velocidad prevista del interfaz es de 10Gbps
- El ancho de banda del cable empleado es de únicamente 300MHz
- La relación señal/ruido medida en el cable empleado es de 90dB
- El interfaz emplea únicamente un par de hilos para transmisión y otro para recepción

Responda a las siguientes preguntas:

- a) Si en lugar de emplear la solución propuesta se emplease un cable convencional (sobre el que se ha medido la misma relación señal ruido que en el cable propuesto anteriormente) para transmitir por el cable convencional (sin usar los chips codificadores/decodificadores) una señal binaria unipolar sin retorno a cero. ¿Cuál sería el ancho de banda requerido?
- b) ¿Cuál es la velocidad máxima que se obtendría si los codificadores emplean 1024 niveles significativos? ¿Qué relación señal/ruido sería necesaria?
- c) ¿Cuál será el número mínimo de niveles que ha de tomar la señal para obtener la velocidad pedida? ¿Cuántos bits se transmitirán con cada cambio de la señal?
- d) ¿Cuál es la velocidad real que se alcanza en el cable seleccionado? Interprete el significado de resultado obtenido.

**DATOS:**

$$C = 10 \text{ Gbps}$$

$$W = 300 \text{ MHz}$$

$$\frac{S}{R} = 90 \text{ dB} = 10^9$$

**DESARROLLO:**

a)

Señal binaria unipolar sin retorno a cero  $\rightarrow \log_2 N = 1$

$$C = 2 W \log_2 N \rightarrow W = \frac{C}{2 \log_2 N} = \frac{10}{2(1)} = 5 \text{ GHz}$$

b)

$$C = 2 W \log_2 N = 2(300) \log_2 1024 = 6000 \text{ Mbps} = 5,86 \text{ Gbps}$$

$$N = \sqrt{1 + \frac{S}{R}} \rightarrow \frac{S}{R} = N^2 - 1 = 1048575 \text{ niveles}$$

c)

$$C = 2 W \log_2 N \rightarrow N = 2^{\frac{C}{2W}} = 2^{\frac{10}{2(0,3)}} \approx 104032 \text{ niveles}$$

$$\log_2 N = \frac{C}{2W} = \frac{10 \text{ Gbps}}{2(0,3 \text{ GHz})} = 16,6 \text{ bits por cambio de señal}$$

d)

$C = W \log_2(1 + \frac{S}{R}) = 300 \log_2(1 + 10^9) = 8969,2 \text{ Mbps} \approx 8,76 \text{ Gbps} < 10 \text{ Gbps}$  Por lo que no se puede obtener la velocidad deseada (10 Gbps). Visto de otro modo:

$$N = \sqrt{1 + \frac{S}{R}} = \sqrt{1 + 10^9} \approx 31622 \text{ niveles máximos} < 104032 \text{ niveles (apartado c)}$$

Un fabricante de equipos informáticos está diseñando una familia de dispositivos portátiles que deben comunicarse de forma inalámbrica, para ello ha decidido emplear un módulo de transmisión con la codificación de Manchester. Sabiendo que:

- La velocidad de transmisión requerida es de 5Mbps
- El ruido sobre la banda empleada tiene una potencia de 1mW

Responda razonadamente a las siguientes preguntas:

- a) ¿Qué potencia tienen que emplear los equipos de transmisión para garantizar que la transmisión se realice con la codificación de datos indicada?
- b) ¿Cuál es el ancho de banda requerido para obtener la velocidad de transmisión pedida?

**DATOS:**

Manchester  $\rightarrow \log_2 N = \frac{1}{2}$ ;  $N = 2$

$C = 5 \text{ Mbps}$

$R = 1 \text{ mW} = 1 \times 10^{-3} \text{ W}$

**DESARROLLO:**

a)

$$N = \sqrt{1 + \frac{S}{R}} \rightarrow S = N^2 R - R = 2^2 (1 \times 10^{-3}) - 1 \times 10^{-3} = 3 \times 10^{-3} \text{ W}$$

b)

$$C = 2 W \log_2 N \rightarrow W = \frac{C}{2 \log_2 N} = \frac{5}{2 (\frac{1}{2})} = 5 \text{ MHz}$$

Un fabricante de dispositivos móviles está diseñando un equipo que emplea un sistema de transmisión inalámbrico para comunicarse. Sabiendo que el medio físico empleado tiene un ruido de  $5 \times 10^{-12} \text{ W}$  de potencia, un ancho de banda de 20MHz, que la potencia de la señal a transmitir es de 100mW

Responda razonadamente a las siguientes preguntas:

- a) ¿Cuál es la velocidad máxima teórica a la que se puede transmitir la información en el medio citado? ¿Cuál sería la velocidad de modulación? ¿Cuántos bits por cambio de la señal se podrían emplear?
- b) Suponiendo que la señal reduce su potencia a la mitad cada 6m de distancia ¿Hasta qué distancia se podrían mantener una velocidad de 300Mbps? ¿Cuál sería la velocidad de modulación? ¿Cuántos bits por cambio de la señal habría que emplear?

**DATOS:**

$R = 5 \times 10^{-12} \text{ W}$

$W = 20 \text{ MHz}$

$S = 100 \text{ mW} = 100 \times 10^{-3} \text{ W}$

**DESARROLLO:**

a)

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{R}\right) = 20 \log_2 \left(1 + \frac{100 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-12}}\right) = 684,38 \text{ Mbps}$$

$$V = 2W = 2(20) = 40 \text{ Mbaudios}$$

$$N = \sqrt{1 + \frac{S}{R}} = \sqrt{1 + \frac{100 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-12}}} \approx 141421 \rightarrow \log_2 N = 17,11 \text{ bits por cambio de señal}$$

b)

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{R}\right) \rightarrow S = 2^{\frac{C}{W}} R - R = 2^{\frac{300}{20}} (5 \times 10^{-12}) - 5 \times 10^{-12} = 1,64 \times 10^{-7} \text{ W (potencia necesaria para 300 Mbps)}$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^n 100 \times 10^{-3} = 1,64 \times 10^{-7} \rightarrow n = \frac{\log 1,64 \times 10^{-6}}{\log 0,5} = 19,22 \text{ veces}$$

$\rightarrow 19,22 (6 \text{ metros}) = 115,31 \text{ metros}$  se puede mantener una capacidad de 300Mbps

$$V = 2W = 2(20) = 40 \text{ Mbaudios (es la misma)}$$

$$N = \sqrt{1 + \frac{S}{R}} = \sqrt{1 + \frac{1,64 \times 10^{-7}}{5 \times 10^{-12}}} \approx 181,11 \text{ niveles} \rightarrow \log_2 N = 7,5 \text{ bits por cambio de señal.}$$

Una organización industrial cuenta con una fábrica y un centro informático situados en lugares diferentes. Para soportar las necesidades de comunicaciones de la sede central y de su centro informático se ha contratado una línea de datos de 2Mbps de capacidad. Con motivo de la instalación en la fábrica de dispositivos automáticos (robots), surge la necesidad de realizar su control desde los ordenadores situados en el centro informático. Para ello la empresa se ha dotado de la siguiente infraestructura.

Sabiendo que:

- La transmisión sobre la línea de datos se realiza a 128 Kbaud
- La potencia del ruido en la línea de datos (en recepción) es de  $1 \times 10^{-9} \text{ W}$
- Los multiplexores trabajan a nivel de bit.

Los equipos (robots) cuyos datos hay que multiplexar son:

- 1 robot que requiere 16Kbps
- 2 robots que requieren 32Kbps cada uno
- 3 robots que requieren 8Kbps cada uno
- 1 robot que requiere 20Kbps

La capacidad sobrante se empleará como una línea de datos entre la fabrica y en centro informático.

Responda razonadamente a las siguientes preguntas:

- ¿Cuál será la potencia con que se tiene que recibir la señal transmitida sobre la línea de datos? ¿Cuál será la relación señal ruido (en dB)? ¿Cuántos niveles habrá que emplear para la transmisión de la señal?
- Diseñe la trama de multiplexación óptima para la transmisión de los datos pedidos. No asigne a ningún robot más capacidad de la requerida.
- ¿Cuál sería el número de tramas por segundo que se transmitirían con el formato propuesto?
- Suponiendo que se emplease una codificación 8B6T (8 símbolos binarios se transmiten mediante 6 símbolos ternarios). ¿Cuál sería la máxima velocidad alcanzable? ¿Qué ancho de banda se necesitaría si se quiere mantener la velocidad inicial?

#### DESARROLLO:

a)

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{S}{R} \right) \quad | \quad W = \frac{V}{2} = \frac{128}{2} = 64 \text{ KHz}$$

$$\rightarrow S = 2^{\frac{C}{W}} R - R = 2^{\frac{2048}{64}} (1 \times 10^{-9}) - 1 \times 10^{-9} = 4,29 \text{ W}$$

$$\text{dB} = 10 \log_{10} \frac{S}{R} = 10 \log_{10} \frac{4,29}{1 \times 10^{-9}} \approx 96 \text{ dB}$$

$$N = \sqrt{1 + \frac{S}{R}} = \sqrt{1 + \frac{4,29}{1 \times 10^{-9}}} \approx 65498 \text{ niveles}$$

b)

$$C_{\text{robots}} = 16 + 32 + 32 + 8 + 8 + 8 + 20 = 124 \text{ Kbps.} \quad C_{\text{datos}} = 2048 - 124 = 1924 \text{ Kbps}$$

$$\text{MCM}(16, 32, 8, 20, 1924) = 4 \quad \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 4 & 8 & 8 & 2 & 2 & 2 & 5 & 481 \\ \hline \end{array}$$

= 512 bits de longitud de la trama.

$$T = \frac{\text{longitud de trama}}{C} = \frac{512 \text{ bits}}{2097152 \text{ bps}} = 2,44 \times 10^{-4} \text{ segundos} \approx 24,41 \text{ ms}$$

c)

$$\rightarrow \frac{1}{T} = \frac{1}{2,44 \times 10^{-4}} = 4096 \text{ tramas por segundo}$$

d)

$$C = V \log_2 N = 128 \left( \frac{8}{6} \right) = 170, \bar{6} \text{ Kbps}$$

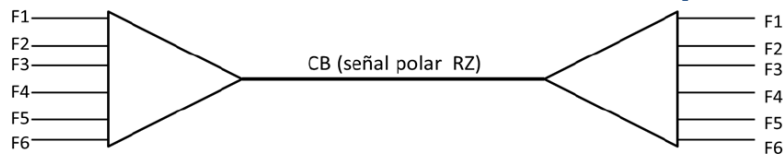
$$C = V \log_2 N \rightarrow V = \frac{C}{\log_2 N} = \frac{2048}{\frac{8}{6}} = 1536 \text{ Kbaudios}$$

$$\rightarrow W = \frac{V}{2} = \frac{1536}{2} = 768 \text{ MHz}$$

Se desea diseñar un multiplexador/demultiplexador que también tenga la capacidad de realizar conversiones analógico/digital codificando cada muestra con 8 bits y que funcione a nivel de bit. Los flujos de información que se necesitan multiplexar son:

- F1: video de 5 MHz
- F2: música de 16 KHz
- F3: telefonía de 4 KHz
- F4: datos a 4 kbps
- F5: datos a 128 Kbps
- F6: datos a 2,048 Mbps

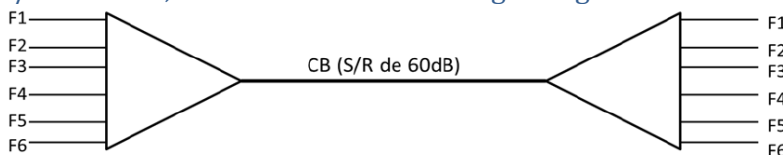
Tal como se muestra en la figura siguiente se conectan dos multiplexores mediante un cable (CB). Para transmisión entre los mismos se utiliza una codificación de línea de señal polar con retorno a cero.



Responda razonadamente a las siguientes preguntas:

- Calcule el número de tramas por segundo a la salida del multiplexor
- Diseñe la trama de multiplexación, indicando el nº de bit por canal y el nº de bits por trama.
- Calcule la velocidad en bps a la salida del multiplexor
- Calcule la velocidad en baudios en CB
- Calcule el ancho de banda mínimo necesario del cable CB

Considérese ahora que en la transmisión en el cable se realiza con una codificación diferente que mantenga en el cable CB una relación S/R de 60 dB, tal como se indica en la figura siguiente.



- Calcule la velocidad en baudios en CB
- Calcule el ancho de banda mínimo necesario del cable CB
- Explique el motivo de la diferencia entre los resultados obtenidos en los apartados d y f así como también el motivo de la diferencia entre los resultados obtenidos en los apartados e y g.

#### DESARROLLO:

b)

Regimen Binario = 2 x W x bits por muestra

F1: 2 (5000) 8 = 80000 Kbps

F2: 2 (16) 8 = 256 Kbps

F3: 2 (4) 8 = 64 Kbps

F4: 4 Kbps

F5: 128 Kbps

F6: 2048 Kbps

Total = 82500 Kbps  $\approx$  80,57 Mbps

MCM(80000, 256, 64, 4, 128, 2048) = 4

Bits por canal:

20000	64	1	32	512
-------	----	---	----	-----

= 20625 bits (longitud de la trama)

a)

$$T = \frac{\text{longitud de trama}}{C} = \frac{20625}{84480000} = 2,44 \times 10^{-4} \text{ segundos} \approx 24,4 \text{ ms}$$

$$\rightarrow \frac{1}{T} = \frac{1}{2,44 \times 10^{-4}} = 4096 \text{ tramas por segundo}$$

c)  
 $C = \text{tramas por segundo} \times \text{longitud de la trama} = 4096 \times 20625 = 84480000 \text{ bps} = 80,57 \text{ Mbps}$   
También podemos decir que ya lo hemos calculado antes al sumar el régimen binario.

d)  
señal polar RZ  $\rightarrow \log_2 N = \frac{1}{2}$   
 $C = V \log_2 N \rightarrow V = \frac{C}{\log_2 N} = \frac{80,57}{\frac{1}{2}} = 161,13 \text{ Mbaudios}$

e)  
 $V = 2W \rightarrow W = \frac{V}{2} = \frac{161,13}{2} = 80,57 \text{ MHz}$

f)  
 $C = V \log_2 N \quad | \quad N = \sqrt{1 + \frac{S}{R}} \quad | \quad \frac{S}{R} = 60 \text{ dB} \approx 10^6$   
 $\rightarrow N = 1000; V = \frac{C}{\log_2 N} = \frac{80,57}{9,97} = 8,08 \text{ Mbaudios}$

g)  
 $C = W \log_2(1 + \frac{S}{R}) \rightarrow W = \frac{C}{\log_2(1 + \frac{S}{R})} = \frac{80,57}{\log_2(1 + 10^6)} = 4,04 \text{ MHz}$   
O también:  $W = \frac{V}{2} = \frac{8,08}{2} = 4,04 \text{ MHz}$

h)  
En e) y f) al usar una codificación que utiliza  $\frac{1}{2}$  bits por cambio de señal, se necesita una mayor velocidad de transmisión que en g) y h) cuyo número de bits por cambio de señal es: 9,97.

Sobre una línea telefónica estándar de 3.1Khz de ancho de banda y 30 decibelios de relación señal ruido:

- ¿Cuál es la máxima velocidad de transmisión alcanzable si se emplea una codificación binaria?
- ¿Cuál sería el número máximo de niveles significativos que puede tomar la señal?
- ¿Cuál será la velocidad máxima de señalización?

**DATOS:**

$W = 3,1 \text{ KHz}; \quad S/R = 30\text{dB} = 10^3; \quad \text{Codificación Binaria} \rightarrow N=2; \quad \log_2 N = 1$

**DESARROLLO:**

a)  
 $C = 2W \log_2 N = 2(3,1)1 = 6,2 \text{ Kbps}$

b)  
 $N = \sqrt{1 + \frac{S}{R}} = \sqrt{1 + 10^3} = 31,64 \text{ niveles}$

c)  
 $V = 2W = 2(3,1) = 6,2 \text{ Kbaudios}$

Un centro de investigación espacial con sede en Madrid necesita conectar mediante una red de datos dicha sede con el observatorio que posee en Canarias. Para ello, y debido a la gran cantidad de datos que necesitan manejar, procedentes de diferentes satélites artificiales, han contratado a una operadora de telecomunicaciones un cable de 100 fibras ópticas las cuales van de Madrid a Cádiz, y desde Cádiz llegan a Tenerife a través del cable submarino "Pencan 6".

La compañía de telecomunicaciones ofrece unas fibras de 5 TeraHz de ancho de banda, con una relación señal ruido de 100db. Los equipos de transmisión (láser) que utilizan, denominados "convertidores de medios", son los encargados de adaptar la señal a la fibra, permitiendo velocidades de modulación por lambda de 50 Gbaud, y empleando dos niveles de señal (encendido/apagado).

Por otro lado, dichos equipos de transmisión emplean multiplexación DWDM, utilizando bandas de guarda de 1 GHz y codificación 8B10B.

El cable submarino es capaz de transportar toda la información que llega por las fibras.

En base a los datos anteriores, conteste razonadamente a las siguientes cuestiones:

- ¿A qué velocidad se podrían transmitir datos desde Tenerife a Madrid por cada lambda?
- ¿Cuál sería el máximo número de lambdas ( $\lambda$ ) que se pueden multiplexar en cada una de las fibras ópticas?
- Calcule la velocidad de transmisión alcanzable en una única fibra. Calcule también la capacidad en bit/seg total del cable de 100 fibras que sale de la sede de Madrid
- Suponiendo que los datos obtenidos de cada un satélite artificial requieren una velocidad de transmisión de unos 40 Mbps para poder ser tratados en el centro de investigación espacial, ¿de cuántos satélites se podrán enviar sus datos recogidos, a la vez, con una única fibra? ¿Y si se emplean todas las fibras del cable?
- Suponga que en un futuro estuvieran disponibles equipos de transmisión que permitieran emplear la capacidad teórica de cada fibra. ¿Cuál sería la velocidad de transmisión sobre una única fibra? Asimismo, ¿qué velocidad se podría garantizar a cada una de las potenciales conexiones si se equipan todas las fibras con número máximo de los nuevos transmisores?

#### **DATOS**

$W = 5 \text{ THz}$  ; Banda de guarda = 1 GHz ;  $N = 2$  ;  $V_{\lambda} = 50 \text{ Gbaudios}$   
 $\frac{S}{R} = 100 \text{ dB} = 10^{10}$  ; 1 cable = 100 fibras

#### **DESARROLLO**

a)

$$C_{\lambda} = V_{\lambda} \log_2 N = 50 \left( \frac{8}{10} \right) = 40 \text{ Gbps}$$

b)

$$W_{\lambda} = \frac{V_{\lambda}}{2} = 25 \text{ GHz}$$

$$\text{número de lambdas} = \frac{W}{W_{\lambda} + \text{banda de guarda}} = \frac{5000}{25+1} = 192 \text{ lambdas}$$

c)

$$C = (40 \text{ Gbps}) (192) = 7680 \text{ Gbps} \approx 7,5 \text{ Tbps en una fibra}$$

$$7,5 (100) = 750 \text{ Tbps en el cable de 100 fibras}$$

d)

$$\text{número de satélites} = \frac{\text{potencia}}{\text{capacidad de potencia}} = \frac{7864320}{40} = 196168 \text{ Satélites por fibra}$$

$$100 (196608) = 19660800 \text{ satélites por cable}$$

e)

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{S}{R} \right) = 50 \log_2 (1 + 10^{10}) = 1660,96 \text{ Tbps} = 1,62 \text{ Pbps en una fibra}$$

$$1,62 (100) = 162 \text{ Pbps en el cable de 100 fibras.}$$

Un proveedor de servicios de Telecomunicación de implantación nacional (con sucursales en todas las capitales de provincia) necesita actualizar su infraestructura interna de comunicaciones con el fin ampliar la gama de servicios que hasta ahora ofrecía a sus clientes. En concreto, el catálogo de productos que desea ofrecer en el año 2004 comprende las siguientes aplicaciones:

- Distribución de Video: 2Mbps
- Telemedicina: 4Mbps
- Videoconferencia: 5Mbps
- Canales de Datos: 2Mbps
- Canales de Voz convencionales: Codificación PCM (rango de frecuencias 4.000Hz), 8 bits/muestra
- Canales de Voz Alta Calidad: Codificación PCM (rango de frecuencias 8.000Hz), 8 bits/muestra
- Audio: Codificación PCM (rango de frecuencias 20.000Hz), 16 bits/muestra.

Después de un estudio de mercado acerca de la potencial demanda de servicios, se ha considerado conveniente (en una primera fase) la implantación de un enlace entre Madrid-Barcelona capaz de soportar las siguientes aplicaciones:

- 200 Canales de Video (símplex en cada sentido de la transmisión)
- 200 Canales de Telemedicina (dúplex)
- 200 Canales para videoconferencia (dúplex)
- 3000 Canales de datos (dúplex)
- 160.000 Canales de Voz Convencional (dúplex)
- 2000 Canales de Voz de Alta Calidad (dúplex)
- 2000 Canales de audio (símplex en cada sentido de la transmisión)

Para ello, se dispone de Sistemas de Transmisión Digital de Alta Capacidad, que utilizan fibra óptica mediante WDM en donde cada lambda opera a 10Gbps.

Con los datos del enunciado se pide responder a las siguientes cuestiones:

- f) Calcular el régimen binario para la transmisión que necesitan todas estas aplicaciones.
- g) Determinar el número de lambdas necesarios en cada sentido de la transmisión necesarios para soportar los servicios demandados en el enlace Madrid-Barcelona
- h) Sabiendo que en cada lambda ese emplea una codificación 4B5B. ¿Cuál es el ancho de banda total consumido en la fibra? ¿Cuál sería el ancho de banda consumido si se hubiesen empleado 200 lambdas (número usual actualmente)?

**DESARROLLO:**

a)

200 x video	= 200 x 2Mbps	= 400 Mbps
200 x telemedicina	= 200 x 4 Mbps	= 800 Mbps
200 x videoconferencia	= 200 x 5 Mbps	= 1000 Mbps
3000 x datos	= 3000 x 2 Mbps	= 6000 Mbps
160000 x voz convencional	= 2 x 0,004 MHz x 8 bits/muestra	= 10240 Mbps
2000 x voz alta calidad	= 2 x 0,008 MHz x 8 bits/muestra	= 256 Mbps
2000 x audio	= 2 x 0,020 MHz x 16 bits/muestra	= 1280 Mbps
Regimen Binario Total = 19976 Mbps = <b>19,51 Gbps</b>		

b)

Cada Lambda = 10 Gbps, entonces se necesita **2 lambdas en cada sentido**.

c)

$$\text{Codificación 4B5B} \rightarrow \log_2 N = \frac{4}{5}$$

$$C_\lambda = 2W_\lambda \log_2 N \rightarrow W_\lambda = \frac{C_\lambda}{2 \log_2 N} = \frac{10}{2(\frac{4}{5})} = \mathbf{6,25 \text{ GHz}}$$

$$W_{200} = 200 (6,25) = 1250 \text{ GHz} = \mathbf{1,25 \text{ THz}}$$